

撤稿声明

撤稿文章名: 基于3次B样条小波变换和改进自适应阈值的边缘检测算法
作者: 徐靖, 王煜, 豆帅, 王元勋
通讯作者邮箱: wangyuanxun@hust.edu.cn
期刊名: 计算机科学与应用(CSA)
年份: 2017
卷数: 7
期数: 3
页码(从X页到X页): 225-231
DOI(to PDF): <https://doi.org/10.12677/CSA.2017.73028>
文章ID: 1540720
文章页面: <https://www.hanspub.org/journal/PaperInformation.aspx?paperID=19999>
撤稿日期: 2022-6-13

撤稿原因(可多选):

- 所有作者
 部分作者:
 编辑收到通知来自于
- 出版商
 科研机构:
 读者:
 其他:
- 撤稿生效日期: 2022-5-25

撤稿类型(可多选):

- 结果不实
 实验错误
 数据不一致
 分析错误
 内容有失偏颇
 其他:
- 结果不可再得
 未揭示可能会影响理解与结论的主要利益冲突
 不符合道德
- 欺诈
 编造数据
 虚假出版
 其他:
 抄袭
 自我抄袭
 重复抄袭
 重复发表*
 侵权
 其他法律相关:
- 编辑错误
 操作错误
 无效评审
 决策错误
 其他:
- 其他原因:

出版结果(只可单选)

- 仍然有效.
 完全无效.

作者行为 失误(只可单选):

- 诚信问题
 学术不端
 无(不适用此条, 如编辑错误)

* 重复发表: "出版或试图出版同一篇文章于不同期刊."

历史

作者回应:

是, 日期: yyyy-mm-dd

否

信息改正:

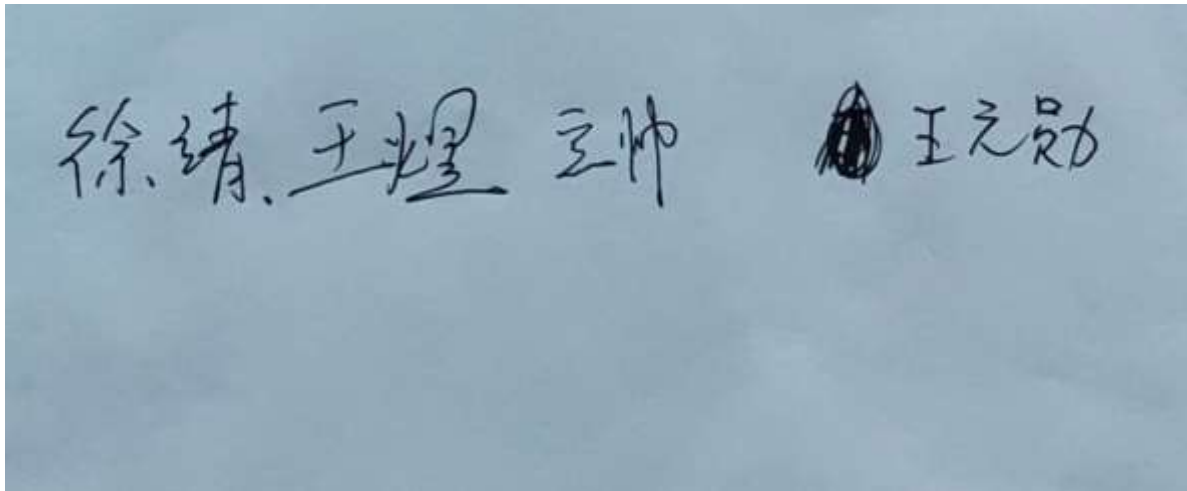
是, 日期: yyyy-mm-dd

否

说明:

“基于3次B样条小波变换和改进自适应阈值的边缘检测算法”一文刊登在2017年3月出版的《计算机科学与应用》2017年第7卷第3期第225-231页上。之后该论文二作于2020年以一作身份将此文章发表在其它刊物上,属于学术不端行为。为避免造成不良后果,根据国际出版流程,编委会现决定撤除此稿件:徐靖,王煜,豆帅,王元勋。基于3次B样条小波变换和改进自适应阈值的边缘检测算法[J]. 计算机科学与应用, 2017, 7(3): 225-231. <https://doi.org/10.12677/CSA.2017.73028>

所有作者签名:



A New Edge Detection Algorithm Based on 3-B-Spline Wavelet Transform and an Improved Adaptive Threshold

Jing Xu¹, Yu Wang^{2*}, Shuai Dou³, Yuanxun Wang³

¹HangYu Lifesaving Equipment Co., Ltd., Xiangyang Hubei

²Wuhan Aviation Instrument Co., Ltd., Wuhan Hubei

³Huazhong University of Science and Technology, Wuhan Hubei

Email: *wangaihuanhuan@126.com

Received: Mar. 8th, 2017; accepted: Mar. 25th, 2017; published: Mar. 28th, 2017

Abstract

In order to solve the problem of noisy image edge detection, an improved NormalShrink adaptive wavelet threshold is put forward on the foundation of combining edge detection and denoising. According to the different characteristics of noise at different wavelet scales and the special spatial relationship between the edge pixels, the algorithm first extracts wavelet coefficients which may contain image edge feature by using 3-B spline wavelet transform and local maximum mode, and then constructs an improved Normalshrink adaptive threshold of each scale level which is used to select the extracted wavelet coefficients. Experimental results show that this method can keep image's edges clear and increase PSNR about 3 db.

Keywords

Edge Detection, Wavelet Transform, Adaptive Threshold, PSNR

基于3次B样条小波变换和改进自适应阈值的边缘检测算法

徐靖¹, 王煜^{2*}, 豆帅³, 王元勋³

¹航宇救生装备有限公司, 湖北 襄阳

²武汉航空仪表有限责任公司, 湖北 武汉

³华中科技大学, 湖北 武汉

Email: *wangaihuanhuan@126.com

*通讯作者。

摘要

针对含噪声图像边缘提取问题，本文将边缘提取与图像去噪结合起来，提出了一种改进NormalShrink自适应阈值去噪算法。该算法首先通过3次B样条小波变换和局部模极大值法提取出可能包含图像边缘特征的小波系数，考虑边缘像素之间特殊的空间关系以及噪声在各级小波分解尺度下的不同效应，构建适合各个尺度级的改进Normalshrink自适应阈值，并依此对提取出的小波系数进行筛选。试验结果表明，与Candy算子和传统的Normalshrink自适应阈值相比，本文方法提取出的图像边缘较为完整清晰，峰值信噪比提升约3 db。

关键词

边缘提取，小波变换，自适应阈值，峰值信噪比

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

图像边缘信息的识别和提取在图像匹配、模式识别、图像分割等领域有着重要的应用，其研究长期为学者们所重视。图像边缘是指其周围像素灰度变化的像素的集合，即是二维图像中的奇异点，在频域内，边缘点表现为高频信号，而噪声也多为高频信号，这就给边缘提取带来了较大难度。经典图像处理算法中，图像边缘检测的方法主要有基于微分运算的 Sobel 算子、Robert 算子、Prewitt 算子等，但是这些算子在提取边缘的过程中往往会增大噪声，因此有学者提出在边缘提取之前先采取适当的平滑滤波降低噪声的影响，提出基于最优准则的 Canny 算子[1]、LOG 算子[2]等，取得一定的研究成果。

随着研究的深入，人们发现视觉过程是一个多分辨率的过程，图像在不同分辨率下所表达出的信息不同，小波时频分析的优越性使之得到广泛的应用[3]。针对用于边缘提取的小波基函数研究，文献[4]中说明了当 $n \rightarrow \infty$ 时，B 样条 $\beta^n(x)$ 和其 Fourier 变换均收敛于 Gauss 函数，B 样条的紧支特性使得它更加优于 Gauss 函数，文献[5]中证明实际应用中 3 次 B 样条是渐进最优的，因此本文选择 3 次 B 样条函数作为平滑函数，其一阶导数作为小波基函数。

对于降噪的研究，Donoho 等人[6]提出的 VisuShrink 全局自适应阈值方法是应用最广泛的自适应阈值方法，后续有学者考虑到了图像的多尺度效应提出其他的自适应阈值方法[7] [8] [9]，取得一定成果，但少见学者考虑噪声的多尺度效应。本文主要针对噪声多尺度效应进行研究，并且考虑到边缘像素之间特殊的空间特性构建适合各个尺度级的自适应阈值，提出改进 Normalshrink 自适应阈值，首先利用 3 次 B 样条小波变换和局部模极大值法提取图像边缘，然后对边缘小波系数进行阈值量化，最后进行小波逆变换重构图像边缘。

2. B 样条小波变换

用于图像边缘提取的小波基函数应为一个紧支撑的奇函数小波，根据 Canny 准则的前两个准则，对

阶跃边缘的最优检测函数为阶段阶跃或者差分盒函数。在等距单重节点条件下, n 次中心样条函数 $\beta^n(x)$ [10]定义为:

$$\beta^n(x) = \beta^{n-1}(x) * \beta^0(x) = \frac{1}{n!} \sum_{k=0}^{n+1} \binom{n+1}{k} (-1)^k \left[x - k + \frac{n+1}{2} \right]_+^n \quad (1)$$

其中 $(x)_+ = \max\{0, x\}$, 由式(1)可知, $\beta^n(x)$ 为正数, 支撑集为 $\left[-\frac{n+1}{2}, \frac{n+1}{2}\right]$ 。

对于相互嵌套的多样式样条函数空间 $\{S_{(i)}^n, i \in Z\}$, 使 $\{S_{(i)}^n \supset S_{(i+1)}^n\}$ 。对于 $i \in Z$, $S_{(i)}^n$ 是 $L^2(R)$ 的子空间, 每一区间 $[k2^j, (k+1)2^j]$ 上 $S_{(i)}^n$ 等价于 n 阶多项式。

$$S_{(i)}^n(x) = \left\{ f_{(i)}^n(x) = \sum_{k=-\mu}^{+\mu} C_i(k) \beta_{2^j}^n(x - 2^j k) \right\}, x \in R, C_i(k) \in l_2 \quad (2)$$

其中 $\beta_{2^j}^n(x) = \frac{1}{2^j} \beta^n\left(\frac{x}{2^j}\right)$, $\beta^n(x)$ 的傅立叶变换为:

$$\hat{\beta}^n(\omega) = \left[\frac{\sin(\omega/2)}{\omega/2} \right]^{n+1} \quad (3)$$

故 $\{\beta(x-k), k \in Z\}$ 构成了空间 $S_{(0)}^n$ 的 Riesz 基, 而 $\{S_{(i)}^n, i \in Z\}$ 构成了 $L^2(R)$ 空间的多分辨率分析。

由以上原理, 空间 $L^2(R)$ 内的任意一个信号 $f \in L^2(R)$ 均可以表示为 n 次 B 样条函数的加权和, 其经过伸缩变换的结果均可以由 B 样条的系数 C 表示, 其中下标 i 代表分辨率, 其决定了信号的质量, 分辨率 i 越小, 边缘定位越精确。

3. 图像边缘提取算法

对任意的像素 $P(i, j)$, 其小波变换在水平方向和竖直方向得到的小波系数是独立的, 记为 $w_1(i, j)$ 和 $w_2(i, j)$, 因此它的模为:

$$Mf(i, j) = \sqrt{w_1^2(i, j) + w_2^2(i, j)} \quad (4)$$

像素的实际方向为其梯度方向, 因此幅角计算公式为:

$$Af(i, j) = \arctan\left(\frac{w_2(i, j)}{w_1(i, j)}\right) \quad (5)$$

对于离散化的数字图像而言, 一个像素点的周围有8个邻接点, 因此一个像素点的离散化的梯度方向也只有8个方向。提取边缘时, 首先点亮任意一个像素点, 计算模值和与其相邻像素的幅角, 比较相邻像素点的模值, 较大模值的像素点作为备选边缘点, 下次向前搜索方向为梯度方向, 按照此方法遍历整幅图像。

4. 自适应阈值的确定

4.1. NormalShrink 自适应阈值

设: $y_{i,j} = x_{i,j} + \varepsilon_{i,j}$, $i, j = 1, 2, \dots, n$

$y_{i,j}$, $x_{i,j}$, $\varepsilon_{i,j}$ 代表加噪图像、原始图像以及高斯噪声, 其中 $\varepsilon_{i,j} \sim N(0, \sigma_n^2)$ 。

小波变换后得到小波系数 $Y_{i,j} = X_{i,j} + G_{i,j}$, 有: $X \sim N(0, \sigma_x^2)$, $Y/X \sim (X, \sigma_x^2)$

Kaur L 等人[11]提出的 NormalShrink 自适应阈值法, 阈值计算公式如下:

$$T = \frac{\beta \sigma_n^2}{\sigma_X} \quad (6)$$

$$\sigma^2 = \left[\frac{\text{median}(HH_1)}{0.6745} \right]^2 \quad (7)$$

$$\beta = \sqrt{\log \frac{L_j}{J}} \quad (8)$$

其中 $j=1,2,\dots,J$, J 为分解尺度, σ_n^2 代表噪声方差, σ_X 代表 X 的标准差, HH_1 为第 1 层分解的低频子带系数。

4.2. 考虑边缘像素空间特性的自适应阈值

边缘像素之间存在着一种特殊的空间关系, 通过与其相邻的边缘像素对某一边缘像素进行标准方差估计会更加精确, 对于任意一个边缘像素 $P(i, j)$ 而言, 其相邻的边缘像素共有 $2L$ 个, 于是有公式[12]:

$$\sigma_X(i, j)^2 = \frac{1}{2L+1} \sum \sigma_Y(t, v)^2 - \sigma_n^2 \quad (9)$$

其中 σ_n^2 为图像噪声方差。考虑到 L 取值对去噪结果的影响, 有公式:

$$\sigma_X(i, j)^2 = \max \left(\frac{1}{2L+1} \sum_{[t,v] \in B(i,j)} \sigma_Y(i, j)^2 - \sigma_n^2, 0 \right) \quad (10)$$

其中 $B(i, j)$ 代表边缘像素的集合。

4.3. 噪声多尺度估计的自适应阈值

噪声在频域内表现为高频信号, 同样具有多分辨率的特性, 对噪声进行单一方差估计会导致提取出的图像边缘含有较多的伪边缘, 影响图像质量, 因此将对系数噪声方差 σ_n 的单一估计改为多尺度下的方差估计, 于是有:

$$\sigma_n^2 = \left[\frac{\text{median}(HH_j)}{0.6745} \right]^2 \quad (11)$$

HH_j 为第 j 层分解的低频子带系数。

同时利用边缘像素之间特殊的空间关系, 有:

$$\sigma_X(i, j)^2 = \max \left(\frac{1}{2L+1} \sum_{[t,v] \in B(i,j)} \sigma_Y(i, j)^2 - \sigma_n^2, 0 \right) \quad (12)$$

在多分辨率分析中, 多尺度特性不仅是指图像在不同分解层次表现出的特性, 也包括了图像在不同分解方向所表现出来的特性, 因此有:

$$\sigma_{X_{ys}}(i, j)^2 = \max \left(\frac{1}{2L+1} \sum_{[t,v] \in B(i,j)} \sigma_{Y_{ys}}(i, j)^2 - \sigma_n^2, 0 \right) \quad (13)$$

其中 $j=1,2,\dots,J$ 为分解尺度, $s=1,2,3$ 分别代表水平、竖直、对角三个方向。

4.4. 尺度参数的改进

本文在 matlab 仿真实验中发现, 信号长度对去噪效果有一定影响, 相同的阈值方法在不同长度的信

号中会表现出不同的降噪效果，结合实验过程将尺度参数 β 计算公式改为：

$$\beta = \frac{1}{2^j} \sqrt{\frac{L}{L_j} \log \frac{L_j}{J}} \quad (14)$$

L 代表信号的长度。

综合以上，改进 NormalShrink 自适应阈值计算公式如下：

$$T_{js} = \frac{\beta \sigma_n^2}{\sigma_{X_{js}}(i, j)} \quad (15)$$

$$\sigma^2 = \left[\frac{\text{median}(HH_j)}{0.6745} \right]^2 \quad (16)$$

$$\beta = \frac{1}{2^j} \sqrt{\frac{L}{L_j} \log \frac{L_j}{J}} \quad (17)$$

$$\sigma_{X_{js}}(i, j)^2 = \max \left(\frac{1}{2L+1} \sum_{[t,v] \in B(i,j)} \sigma_{Y_{js}}(i, j)^2 - \sigma_n^2, 0 \right) \quad (18)$$

5. 仿真试验

算法计算过程总结为：

- (1) 对图像进行 3 层 3 次 B 样条小波变换；
- (2) 采用局部模极大值法提取图像边缘；
- (3) 对提取的图像边缘小波系数进行改进 NormalShrink 自适应阈值量化；
- (4) 小波逆变换重构图像边缘。

为评价算法的有效性，本文对尺寸为 1024×1024 的 lena 图像加入均值为 0，方差为 5、10、15 的高斯白噪声进行测试，将本文算法结果与 Canny 算子和经典 NormalShrink 自适应阈值相对比，结果如图 1 所示。

对比算子提取边缘优劣的方法有主观法和客观法两种。主观观察仿真试验结果图可以看到：随着噪声增大，边缘提取难度增大；Canny 算子获取的边缘与 3 次 B 样条小波变换获取边缘相比，小波变换所得到的边缘更加精确，所引入的虚假边缘较少；改进 NormalShrink 与 NormalShrink 自适应阈值相比较，改进后的自适应阈值在视觉效果上更加清晰。客观法通常是采用峰值信噪比(PSNR)来定量分析，通常在经过影像压缩之后，输出的影像通常都会有某种程度与原始影像不同，为了衡量经过处理后的影像品质，我们通常会参考 PSNR 值来认定某个算法够不够令人满意，峰值信噪比简单地通过均方差(MSE)进行定义：

$$\text{PSNR} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{2^n - 1}{\text{MSE}} \right) \quad (19)$$

其中 MSE 是原图像与处理图像之间均方差。峰值信噪比的单位是分贝(dB)，峰值信噪比值越大，表示算法所得的处理后的影像质量越高。。

本文算法和传统 NormalShrink 自适应阈值的峰值信噪比对比结果见表 1。

6. 结论

采用微分法的传统边缘检测算子会因为微分运算增大噪声，并且滤除真实的边缘像素点，采用基于

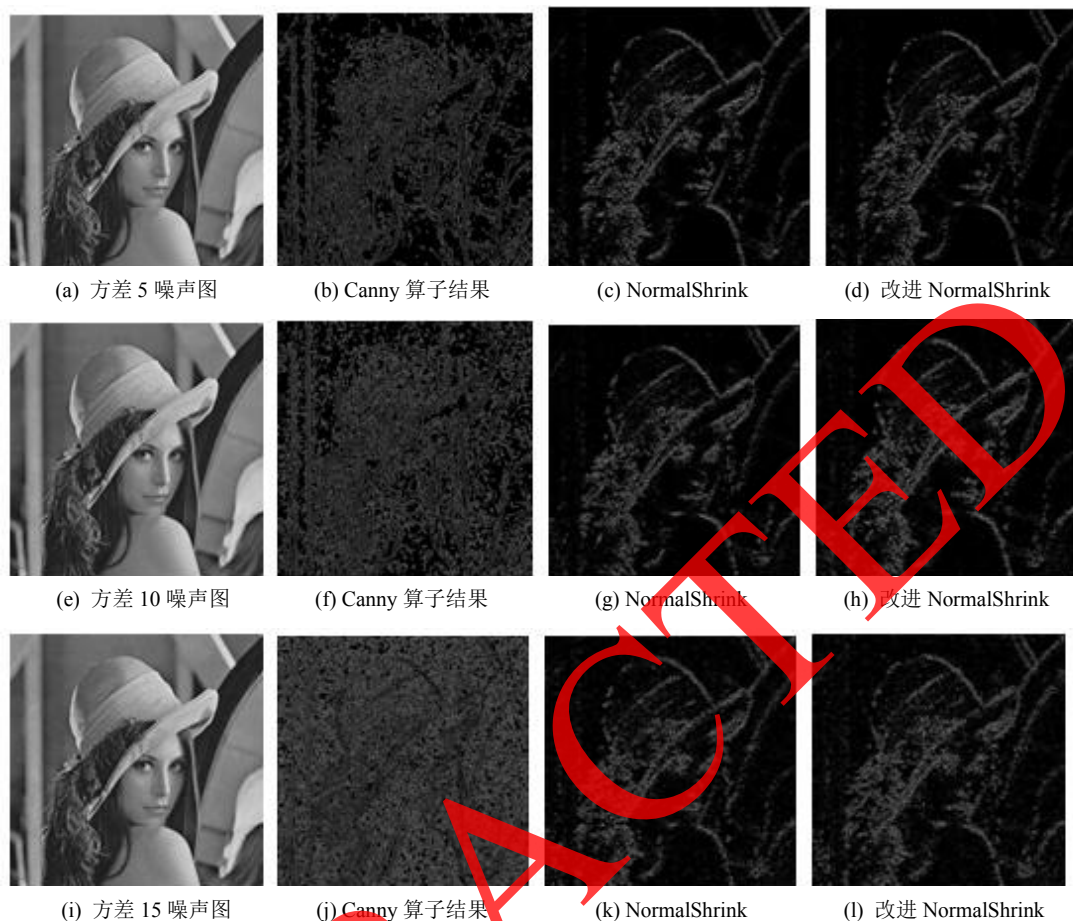


Figure 1. Simulation Results
图 1. 仿真试验结果

Table 1. Different PSNR of the two adaptive thresholds under different noise variances
表 1. 两种自适应阈值在不同噪声方差下的 PSNR

自适应阈值方法	方差 5 PSNR	方差 10 PSNR	方差 15 PSNR
NormalShrink	34.75 dB	31.84 dB	29.99 dB
改进 NormalShrink	37.99 dB	34.97 dB	32.86 dB

小波变换的边缘检测算子对微分运算不敏感。对比采用 Gauss 函数的传统小波变换，基于 B 样条的小波变换的紧支性更优，且 3 次 B 样条是渐进最优的。本文采用基于 3 次 B 样条小波变换和局部模极大值的方法提取 lena 图像边缘，并且改进 NormalShrink 自适应阈值方法，该方法利用噪声在不同分解尺度下呈现出不同的特性以及边缘像素之间特殊的空间关系，确定适合边缘像素的各个尺度的自适应最优阈值。仿真实验结果初步显示，改进 NormalShrink 自适应阈值改善了图像边缘的视觉效果，提高了峰值信噪比。后续的研究应该方向应该是寻找更加优越的小波基函数以及判断边缘像素点更加精确的自适应阈值。

基金项目

国家自然科学基金资助项目(11072083)。

参考文献 (References)

- [1] Jone, C. (1986) A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **8**, 679-698.
- [2] Marr, D. and Hildreth, E. (1980) Theory of Edge Detection. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B*, **207**, 187-217. <https://doi.org/10.1098/rspb.1980.0020>
- [3] Mallat (1994) A Theory for Multi-Resolution Decomposition: The Wavelet Shrinkage. *Biometrika*, **81**, 425-452.
- [4] Unser, M.A., Ldrou, B.I.A. and Eden, M. (1992) On the Asymptotic Convergence of B-Spline Wavelets to Gabor Function. *IEEE Transaction on Information Theory*, **38**, 864-872. <https://doi.org/10.1109/18.119742>
- [5] Wang, Y.-P. and Cai, Y.-L. (1995) Multiscale B-Spline Wavelet Edge Detection Operator. *Science of China*, **25**, 426-437.
- [6] Donoho, M.J. (1995) Denoising by Soft Thresholding. *IEEE Transactions on Information Theory*, **41**, 613-627. <https://doi.org/10.1109/18.382009>
- [7] Chang, S.G., Yu, B. and Vetterli, M. (2000) Adaptive Wavelet Thresholding for Image Denoising and Compression. *IEEE Transactions on Image Processing*, **9**, 1532-1546. <https://doi.org/10.1109/83.862637>
- [8] Luisier, F., Blu, T. and Unser, M. (2007) A New SURE Approach to Image Denoising: Interscale Orthonormal Wavelet Thresholding. *IEEE Transactions on Image Processing*, **3**, 593-605. <https://doi.org/10.1109/TIP.2007.891064>
- [9] Bhutada, G.G., Anand, R.S. and Saxena, S.C. (2011) Edge Preserved Image Enhancement Using Adaptive Fusion of Images Denoised by Wavelet and Curvelet Transform. *Digital Signal Processing*, **21**, 118-130. <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2010.09.002>
- [10] Schoenberg, I.J. (1946) Contributions to the Problem of Approximation of Equidistant Data by Analytic Functions. *Quarterly of Applied Mathematics*, **4**, 45-99, 112-141. <https://doi.org/10.1090/qam/15914>
- [11] Kaur, L., Gupta, S. and Chauhan, R.C. (2002) Image Denoising Using Wavelet Thresholding. *Proceedings of the Third Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, **11**, 1522-1531.
- [12] Huang, B.W. and Jiao, Y. (2014) A New Adaptive Threshold Image-Denoising Method Based on Edge Detection. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, **12**, 3509-3514. <https://doi.org/10.11591/telkomnika.v11i11.3533>

Hans 汉斯

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: csa@hanspub.org